Journal of Agroecology
Vol. 12, No.2, Summer 2020, p. 345-358

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹، ص ۳۵۸-۳۴۵

مقاله علمی- پژوهشی

ارزیابی پایداری عملکرد دانه لاین‌های امیدبخش گندم دوروم (*Triticum turgidum* L. var. durum) در مناطق معتدل ایران

علی‌اکبر مویدی[۱*]، توحید نجفی میرک[۲]، مجید طاهریان[۱]، شهریار ساسانی[۳] و داوود امین آزرم[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۲۱

مویدی، ع.ا.، نجفی میرک، ت.، طاهریان، م.، ساسانی، ش.، و امین آزرم، د. ۱۳۹۹. ارزیابی پایداری عملکرد دانه لاین‌های امیدبخش گندم دوروم (*Triticum turgidum* L. var. durum) در مناطق معتدل ایران. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۲(۲): ۳۵۸-۳۴۵.

چکیده

مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ× محیط و پایداری عملکرد دانه ارقام در شرایط محیطی مختلف از اهمیت ویژه‌ای در برنامه‌های به‌نژادی گندم (*Triticum aestivum* L.) برخوردار است. به‌منظور مطالعه سازگاری و پایداری لاین‌های امیدبخش گندم دوروم، آزمایشی با تعداد ۱۸ لاین به‌همراه دو رقم شاهد (گندم دوروم هانا و نان پارسی) به مدت دوسال زراعی (۹۶-۱۳۹۵ و ۹۷-۱۳۹۶) در چهار ایستگاه تحقیقاتی (کرج، کرمانشاه، نیشابور و اصفهان) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که حدود ۷۰ درصد از کل تغییرات مربوط به اثر محیط، ۱/۷ درصد مربوط به اثر ژنوتیپ و ۱۳/۵ درصد مربوط به اثر متقابل ژنوتیپ×محیط بود. بررسی بای‌پلات چندضلعی منجر به شناسایی ژنوتیپ‌های مناسب در هر مکان شد. محیط کرج به شرایط محیط ایده‌آل نزدیک بود. بررسی همزمان پایداری و عملکرد ژنوتیپ‌ها با استفاده از بای‌پلات مختصات محیط متوسط نشان داد که ژنوتیپ‌های G_1، G_2 و G_{18} جزء ژنوتیپ‌های برتراز نظرعملکرد و پایداری بالا بودند. نتایج نشان داد که لاین G_{18} می‌تواند در قیاس با رقم شاهد هانا (G_1) به عنوان لاین امیدبخش مطلوب از نظر عملکرد و پایداری در نظر گرفته شود و به عنوان لاین مناسب جهت معرفی در اقلیم معتدل کشور مورد توجه قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: اثر متقابل ژنوتیپ×محیط، GGE بای‌پلات، پایداری، ژنوتیپ برتر

مقدمه

گندم دوروم (*Triticum turgidum* L. var. durum) بخش کوچکی معادل پنج درصد از سطح زیر کشت گندم در دنیا و حدود ۱۰ درصد از کل تولید گندم را شامل می‌شود. در سال‌های اخیر میزان تولید گندم دوروم افزایش یافته و به حدود بیش از ۳۰ میلیون تن رسیده که اتحادیه اروپا، کانادا و ایالات‌متحده ۶۰ درصد این میزان را تولید می‌نمایند. گندم دوروم یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی در منطقه مرکز و غرب آسیا و شمال آفریقا (Central and West Asia and North Africa (CWANA)) و کشورهای حاشیه دریای مدیترانه می‌باشد. منطقه ساوانا سالانه حدود ۱۳ میلیون تن گندم دوروم تولید می‌کند که کشورهای ترکیه، سوریه، مراکش، تونس، الجزایر و ایران ۸۴ درصد این میزان را تولید می‌کنند. بیشتر کشورهای منطقه ساوانا جزء شبکه واردکننده گندم دوروم هستند. در این منطقه تنها سوریه صادرکننده گندم دوروم بوده و ایران پتانسیل

۱- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.
۲- دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات غلات، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
۳- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران.
۴- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: moayediali@yahoo.com)
Doi:10.22067/jag.v12i2.85729

بـالایی بـرای تولیـد گنـدم دوروم دارد (Mohammadi & Amri, 2013). در ایران سطح زیر کشت گندم دوروم بـین ۴۰۰-۳۰۰ هـزار هکتار بوده و میزان تولید سالانه آن بین ۶۰۰-۵۰۰ هزار تن می‌باشد (Najafi Mirak et al., 2019).

شناسایی ژنوتیپ‌های برتر در برنامه‌های اصلاحی همواره به دلیل تغییرات محیطی در مناطق هدف و اثر متقابل این تغییرات با ژنوتیپ-های مورد بررسی مشکل می باشد. بنـابراین، لایـن‌هـای پیشـرفته زراعی در برنامه‌های اصلاحی به‌منظور اطمینان از تولیـد محصـول و پایداری عملکرد بایستی در محیط‌های با شرایط آب و هوایی مختلف و در سال‌های متفاوت ارزیابی شوند (Yan & Rajcan, 2002). یک ژنوتیپ معمولاً در محیط‌های مختلف از لحاظ عملکرد واکـنش‌هـای متفاوتی دارد؛ بطوری‌که رتبه آن از یک محیط به محیط دیگر تغییـر می‌یابد. این تغییرات که در نتیجه اثر متقابل بـین ژنوتیـپ و محـیط ایجاد می‌شود، تحت عنوان اثرات متقابل ژنوتیـپ و محـیط شـناخته شـده اسـت (Allard & Bradshaw, 1964). چنانچـه اثـر متقابـل ژنوتیپ و محیط معنی‌دار باشند، به‌نژادگر نیازمند شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار با میزان تولید نسبتاً ثابـت در دامنـه‌ای از محـیط‌هـای هـدف می‌باشد. پایداری ممکن است به‌صورت استاتیکی و یا دینامیکی باشد. پایداری، استاتیکی است، اگر ژنوتیپ‌ها تمایل به حفظ عملکرد یکسان در همه محیط‌ها را داشته باشند و دینامیکی است اگـر واکـنش‌هـای عملکرد یک ژنوتیپ دارای یک روال ثابت به تغییـرات در محـیط‌هـا باشد. به‌عبارت دیگر، واکنش یک ژنوتیپ موازی با میانگین عملکـرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف باشـد (Becker & Leon, 1988). تاکنون مدل‌های آماری زیادی برای تجزیه اثرات متقابـل ژنوتیـپ و محیط پیشنهاد شده‌اند. این مدل‌ها از ناپـارامتری تـا پـارامتری تـک متغیره و چندمتغیره متفاوت می‌باشد.

از میان روش‌های چند متغیره می‌توان به روش بـای‌پـلات کـه مبتنی بر تجزیه به مولفه‌های اصلی می‌باشد، اشاره نمود (Gabriel, 1971). در روش بای‌پلات ژنوتیپ‌ها و محیط و اثرات متقابل آن‌هـا به‌طور همزمان در یک گراف که بای‌پلات نامیده مـی‌شـود، نمـایش داده می‌شوند. آنچه که در ارزیابی ژنوتیپ‌ها در محیط‌هـای مختلـف بسیار حائز اهمیت می‌باشد، این است که اثـر محـیط در اکثـر مـوارد بسیار بزرگ بوده، اما قابل بهره برداری نیسـت، بنـابراین حـذف اثـر محیط از داده‌ها و تمرکز بر اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط حائز اهمیت است (Yan & Kang, 2003). تنها اثـر ژنوتیـپ و اثـر متقابل اثر متقابل ژنوتیپ×محیط است که در گزینش لایـن‌هـای بـا پایداری عملکرد اهمیت دارند و نکته اساسـی ایـن اسـت کـه دو اثـر ژنوتیپ و ژنوتیپ×محیط باید به صـورت تـوأم بررسـی شـوند. روش GGE بای‌پلات (بای‌پلات ژنوتیپ و ژنوتیپ×محیط[1]) این امکـان را فراهم می‌کند که این دو اثر (ژنوتیپ و ژنوتیـپ×محـیط) همزمـان و بهصورت ترسیمی مورد بررسی قرار گیرنـد (Yan, 2001). محققـان زیادی روش GGE بای‌پلات را روشی کارآمد برای بررسی اثر متقابل ژنوتیپ×محیط معرفی نموده و بیان داشته‌اند که این روش اطلاعـات مفیدی در خصوص ژنوتیپ‌ها و محیط‌های تحت بررسـی در اختیـار محقق قرار می‌دهد. کاربرد GGE بای‌پلات در گزینش ارقام مناسب برای گندم نان (*Triticum aestivum* L.) (Mohammadi et al., 2016b; Ahmadi et al., 2012; Omrani et al., 2017)، کلـزا (*Brassica napus* L.) (Zali et al., 2016) گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) (Pourdad & Jamshid Moghaddam, 2013)، گنـدم دوروم (Mohammadi et al., 2016a) و نخـود (*Cicer arietinum* L.) (Farshadfar et al., 2013) گزارش شده است.

هدف از این تحقیق، بررسی اثر متقابل ژنوتیپ×محیط با استفاده از روش گرافیکی GGE بای‌پـلات در لایـن‌هـای امیـدبخش گنـدم دوروم و شناسایی و معرفی لاین‌های دارای عملکرد اقتصادی بـالا و پایدار جهت معرفی و کشت در مناطق مختلف اقلـیم‌هـای معتـدل و شناسایی مناطق مطلوب بود.

مواد و روش‌ها

هجده لاین امیدبخش گنـدم دوروم، کـه از آزمایشـات مقایسـه عملکرد لاین های پیشرفته گندم دوروم اقلیم معتدل در سال زراعـی ۹۱-۱۳۹۰ انتخاب شده بودند (جدول ۱)، به همراه گندم دوروم هانا و گندم نان پارسی به عنوان ارقام شاهد در قالب طرح بلوک‌های کـامل تصادفی (RCBD) در سه تکرار و در چهـار منطقـه کـرج، اصـفهان، کرمانشاه و نیشابور طـی دو سـال زراعـی متـوالی (۹۷-۱۳۹۶و ۹۶-۱۳۹۵) کاشته شدند و مورد مطالعه قرار گرفتند. زمـین مـورد کشـت تحت تناوب دو ساله غلات- آیش بوده و عملیات تهیه زمین شـامل شخم کلش بعد از برداشت محصول قبل، یک نوبت شخم بهاره، یک نوبت دیسک، دو بار لولر عمود برهم، کود پاشی و ایجاد فارو بود. بذور آزمایشی قبل از کاشت به منظور جلوگیری از سیاهک پنهان با قـارچ کش کاربوکسین تیرام به نسبت دو در هزار ضدعفونی گردید. میـزان بذر مصرفی بر اساس ۴۵۰ بذر در متر مربع و بر اساس وزن هزار دانه برای هر لاین تعیین گردید. تاریخ کاشت در مناطق مـورد آزمـایش، ابتدای آبان بود. کشت به صورت جـوی و پشـته و آبیـاری بصـورت نشتی انجام گرفت. نوع و میزان کود بر اساس آزمون خاک هر منطقه مصرف گردید. کود پتاس از منبع سولفات پتاس، کود فسـفر از منبـع

1- Genotype and genotype× environment Biplot

فسفات آمونیوم بصورت پایه و کود ازته از منبع اوره بصـورت پایـه و سرک به مصرف رسید. هر کرت آزمایشی شامل شـش ردیـف شـش متری به فاصله ۲۰ سانتی‌مــتر (متر مربع ۷/۲=۱/۲×۶) بود که قبل از برداشت نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت حذف و بقیـه (شـش متـر مربع) برداشت شد. برای مبارزه با علف‌های هرز پهن برگ و باریـک برگ، مخلوطی از علف‌کش‌های گرانستار و پوما سوپر به ترتیـب بـه مقدار ۲۰ گرم و یک لیتر در هکتار در مرحله پنجه‌زنی تا سـاقه‌رفـتن استفاده شد. در طول دوره رشد علاوه بر مراقبت‌های زراعی، یادداشت برداری صفات مورد مطالعه شامل تعداد روز از کاشـت تـا ۵۰ درصـد ظهور سنبله، تعداد روز تا ۵۰ درصد رسیدگی فیزیولوژیک، ارتفاع بوته، رنگ دانه و وزن هزار دانه به‌عمل آمد. جهت اندازه‌گیری تعداد روز تا ظهور سنبله و تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیـک، مـلاک ۵۰ درصـد مساحت هر کرت بود. اندازه‌گیری ارتفاع بوته با استفاده از خـط‌کـش ۱۰۰ سانتی‌متری و از سطح خاک در کف کرت تا انتهای سنبله، بدون در نظر گرفتن ریشک‌ها، انجـام شـد. وزن هـزار دانـه بـا اسـتفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ اندازه‌گیـری شـد. تجزیـه واریـانس صفت عملکرد در چهار منطقه و دو سال، با استفاده از تجزیه مرکـب انجام شد که اثر مکان ثابت و اثر ژنوتیپ و سـال تصـادفی در نظـر گرفته شد. قبل از انجام تجزیه واریانس مرکب، جهت آزمون همگنی واریانس آزمایشات، از آزمون بارتلت استفاده شد. نتایج آزمون بارتلت بیانگر یکنواختی واریانس آزمایشات بود.

جدول ۱- نام و شجره ارقام و لاین‌های امید بخش گندم دوروم

Table 1- Name and pedigree of durum wheat cultivars and promising lines

شماره لاین‌ها **Lines number**	شجره لاین‌ها **Pedigree of lines**
G_1	Hana (*T. durum*)
G_2	Parsi (*T. aestivum*)
G_3	SOOTY_9/RASCON_37//SOMAT_3.1/4/GRO_2/YUAN_1//ARLIN/2*ACO89/3/JUPARE C 2001
G_4	SOOTY_9/RASCON_37//SOMAT_3.1/5/GUAYACAN INIA/KUCUK/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1/8/AVTA/…
G_5	BOOMER_33/ZAR/3/BRAK_2/AJAIA_2//SOLGA_8/10/PLATA_10/6/MQUE/4/USDA573//QFN/AA_7/3/ ALBA-…
G_6	P91.272.3.1/3*MEXI75//2*JUPARE C 2001/5/ARTICO/AJAIA_3//HUALITA/3/FULVOUS_1/MFOWL_13/4/TECA96/TILO_1/6/…
G_7	SOOTY_9/RASCON_37//STORLOM/5/TOSKA_26/RASCON_37//SNITAN/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS _4/3/CANELO_9.1/6…
G_8	SOOTY_9/RASCON_37//SOMAT_3.1/3/SOOTY_9/RASCON_37//STORLOM/4/SOOTY_9/RASCON_37/ /GUAYACAN..
G_9	PLATA_6/GREEN_17//SNITAN/4/YAZI_1/AKAKI_4//SOMAT_3/3/AUK/GUIL//GREEN/5/RCOL/GUAN AY*2//SOMAT_3/GREEN_22
G_{10}	PLATA_6/GREEN_17/3/CHEN/AUK//BISU*2/5/PLATA_3//CREX/ALLA/3/SOMBRA_20/4/SILVER_14/ MOEWE
G_{11}	P91.272.3.1/3*MEXI75//2*JUPARE C 2001/5/PLATA_6/GREEN_17//SNITAN/4/YAZI_1/AKAKI_4//SOMAT_3…
G_{12}	MÂALI/5/LOTUS_5/SORD_1/3/CANELO_8//SORA/2*PLATA_12/4/YAZI_1/AKAKI_4//SOMAT_3/3/A UK/GUIL//GREEN
G_{13}	SCRIP_1//DIPPER_2/BUSHEN_3/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1
G_{14}	1A.1D 5+1-06/3*MOJO//RCOL/3/SOMAT_3/PHAX_1//TILO_1/LOTUS_4
G_{15}	PLATA_6/GREEN_17/3/CHEN/AUK//BISU*2/5/PLATA_3//CREX/ALLA/3/SOMBRA_20/4/…
G_{16}	TAMAROI/8/R143/RUFF//STIL/3/YAV79/4/SHWA/MALD/5/ALTAR 84/6/TILO_1/LOTUS_4/7/CAMAYO
G_{17}	ADAMAR_15//ALBIA_1/ALTAR 84/3/SNITAN/10/PLATA_10/6/MQUE/4/USDA573//QFN/AA_7/3/…
G_{18}	WID22202/5/TOSKA_26/RASCON_37//SNITAN/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1/6/…
G_{19}	SOOTY_9/RASCON_37//JUPARE C 2001/6/PLATA_6/GREEN_17/3/CHEN/AUK//BISU/5/PLATA_3//…
G_{20}	ZHONG ZUO/2*GREEN_3//SORA/2*PLATA_12/10/PLATA_10/6/MQUE/4/USDA573//QFN/AA_7/3/…

بررسی پایـداری عملکـرد دانـه ارقـام و لایـن‌هـا بـا اسـتفاده از روش‌هـای چنـدمتغیره GGE بـای‌پـلات انجـام شـد. روش GGE بای‌پلات، اثر ژنوتیپ (G) و اثر متقابل ژنوتیپ×محیط (GE) را با هم حفظ کرده و GGE را به دو جزء ضربی تجزیه می‌کند (Yan et al., 2000). مدل استفاده شده در GGE بای‌پلات بـه صـورت معادلـه ۱ است:

معادله (۱) $Y_{ij} - \mu - \beta_j = g_{i1}e_{1j} + g_{i2}e_{2j} + \varepsilon_{ij}$

g_{i1} و e_{1j}: نمره‌های اولیه بـرای ژنوتیـپ i و محـیط j؛ g_{i2} و e_{2j}: نمره‌های ثانویه برای ژنوتیپ i و محیط j و ε_{ij}: باقیمانده‌ای است که به‌وسیله اثرات اولیه و ثانویه توضیح داده نمی‌شـود. یـک بـای‌پـلات GGE با رسم g_{i1} در مقابـل g_{i2} و e_{1j} در مقابـل e_{2j} در یـک نمـودار پراکنش، رسم می‌شود. نمره‌های اولیـه از طریـق تجزیـه بـه مقـادیر منفرد[1] (SVD) تجزیه شده و به صورت معادله ۲ تبدیل می‌شوند:

معادله (۲) $Y_{ij} - \mu - \beta_j = \lambda_1\xi_{i1}\eta_{1j} + \lambda_2\xi_{i2}\eta_{2j} + \varepsilon_{ij}$

λ_1 و λ_2: به‌ترتیب مقادیر منفرد اولین و دومین مؤلفه اصلی (PC_2 و PC_1)، ξ_{i1} و ξ_{i2}: به‌ترتیب بردارهای ویژه ژنوتیپ iام بـرای PC_1 و PC_2 و η_{1j} و η_{2j}: به‌ترتیب بردارهای ویـژه محـیط jام بـرای PC_1 و PC_2 می‌باشند (Yan et al., 2000; Yan, 2001). به منظور ترسیم نمودارهای GGE بـای‌پـلات و تجزیـه واریـانس مرکـب داده‌هـا از نرم‌افزارهای ADEL-R و GE-R استفاده شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس مرکب داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که اثـر اصـلی سال در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، در حالی‌که اثر اصـلی مکان و همچنـین اثـر اصـلی ژنوتیـپ معنـی‌دار نبـود. اثـر متقابـل ژنوتیپ×سال و نیز اثر متقابل سه جانبه ژنوتیپ×سال×مکان در سطح احتمال یک درصد معنـی‌دار بودنـد کـه نشـانگر وجـود اثـر متقابـل ژنوتیپ×محیط بود. همچنین نتایج حـاکی از آن بـود کـه حـدود ۷۰ درصد از کل تغییرات مربوط به اثر محیط، ۱/۷ درصد مربوط بـه اثـر ژنوتیپ و ۱۳/۵ درصد مربوط به اثر متقابل ژنوتیپ×محیط بود (جدول ۲). هرچند اثر متقابل ژنوتیپ×محیط منبع اصلی تغییرات نبـود، امـا حدود هشت برابر اثر ژنوتیپ نقش داشت. نتایج مشابهی نیـز توسـط سایر محققان گزارش شده اسـت (Yan et al., 2000; Fan et al., 2007; Rose et al., 2008). کم بودن اثر ژنوتیپ در توجیـه تنـوع موجود احتمالاً به این دلیل مـی‌باشـد کـه در سـال‌هـای گذشـته در برنامه‌های به‌نژادی گندم دوروم ژنوتیپ‌های برتـر از لحـاظ عملکـرد انتخاب شده و این ژنوتیپ های برتر در آزمایشات چندمحیطی نسبت به محیط و اثر متقابل ژنوتیپ×محیط نقش کمتری در توجیـه تنـوع موجـود داشـته‌انـد. محمـدی و همکـاران (Mohammadi et al., 2016b) در ارزیابی عملکرد و پایداری عملکرد در ژنوتیپ‌های گنـدم نان بیان کردند که سهم محیط، اثر متقابل ژنوتیپ× محیط و ژنوتیپ در توجیه میانگین مربعات کل به ترتیب ۶۹/۸، ۱۵/۶ و یـک درصـد بود.

میانگین دو ساله عملکرد دانه لاین‌ها و ارقام گندم مورد بررسـی برای ایستگاه های اصفهان، کرج، کرمانشـاه، و نیشـابور و همچنـین میانگین کل عملکرد دانه برای این لاین ها و ارقام در جدول ۳ ارائـه شده است.

نتایج نشان داد که در ایستگاه اصفهان میانگین دامنـه دو سـاله عملکرد دانه لاین‌های مورد ارزیابی ۸/۱۶–۶/۸۵ تن بوده و لاین G_{19} کمترین و لاین G_6 بیشترین میانگین عملکرد را داشتند. میانگین کل عملکرد دانه در این ایستگاه ۷/۳۴ تن در هکتار بود. در ایستگاه کرج میانگین دامنه عملکرد دانه لاین‌های مورد مطالعه ۶/۳۰ تا ۷/۹۳ تن در هکتار بوده و ژنوتیپ G_{20} کمترین و لاین G_{18} بالاترین میـانگین عملکرد دانه را دارا بودند (جدول ۳). میانگین کل عملکرد دانه در این ایستگاه ۷/۰۴ تن در هکتار بود. در ایستگاه کرمانشاه دامنه میـانگین عملکرد دانه لاین‌های مورد مطالعه ۶/۸۹ تـا ۹/۰۴ تـن در هکتـار و لاین‌های G_4 و G_2 به‌ترتیب کمترین و بیشترین میانگین عملکرد دانه را داشتند (جدول ۳). میانگین کل عملکرد دانه در این ایسـتگاه ۷/۸۸ تن در هکتار بود. در ایستگاه نیشابور دامنـه میـانگین عملکـرد دانـه لاین‌های مورد مطالعه ۵/۲۳ تا ۵/۹۰ تن در هکتار و لاین‌های G_{16} و G_{10} به ترتیب کمترین و بیشترین میانگین عملکـرد دانـه را داشـتند. میانگین کل عملکرد دانه در این ایستگاه ۵/۵۶ تن در هکتار بـود. در مجموع، تمام مکان‌ها مشاهده شد که میانگین عملکرد دانه لاین‌های مورد ارزیابی در دامنه‌ای بین ۶/۵۷ تا ۷/۲۶ تن در هکتار و لاین‌های G_{20} و G_2 به ترتیب کمتـرین و بیشـترین عملکـرد دانـه را داشـتند. میانگین کل عملکرد دانه برای مکان‌ها و سال‌های اجـرای آزمـایش ۶/۹۹ تن در هکتار بود. نتایج نشان داد که لایـن‌هـای G_6 و G_{16} از جمله لاین‌هایی بودند که میانگین عملکرد از میانگین عملکرد رقـم شاهد دنا (G_1) بیشتر بود (جدول ۳).

1- Singular valued composition

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه لاین‌های گندم دوروم در چهار مکان و دو سال

Table 2- Combined analysis of variance for durum wheat genotypes in four locations and two years

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares	واریانس توجیه شده Explained variance
مکان Location	3	127.14^{ns}	43.22
سال Year	1	17.48^{**}	1.98
مکان×سال Location× year	3	61.63^{**}	20.95
بلوک (آزمایش) Block (experiment)	16	1.54	2.79
ژنوتیپ Genotype	19	0.78^{ns}	1.68
ژنوتیپ ×مکان Genotype× location	57	0.67^{ns}	4.33
ژنوتیپ × سال Genotype× year	19	1.27^{**}	2.73
ژنوتیپ ×مکان ×سال Genotype× location × year	57	1.04^{**}	6.46
اشتباه آزمایشی Error	304	0.46	15.85
ضریب تغییرات CV (%)	-	9.6	-

جدول ۳- میانگین عملکرد دانه ارقام و لاین‌های امید بخش گندم دوروم در چهار مکان (اصفهان، کرج، کرمانشاه و نیشابور) (۹۷-۱۳۹۵)

Table 3- Mean of grain yield of durum wheat cultivars and promising lines in four locations (Isfahan, Karaj, Kermanshah and Neishabour) (2016-2018)

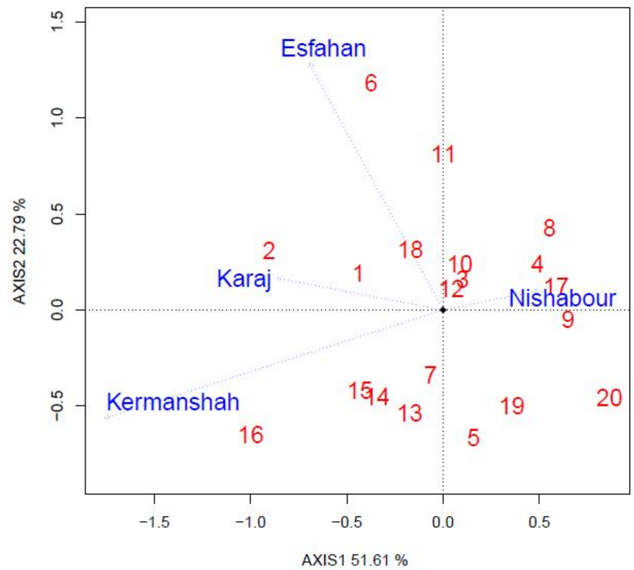
گندم های‌لاین کد Code of wheat lines	رقم/لاین Cultivar/Line	عملکرد دانه Grain yield ($t.ha^{-1}$)				
		اصفهان Isfahan	کرج Karaj	کرمانشاه Kermanshah	نیشابور Neishabour	میانگین Mean
G_1	Hana *(T. durum)*	7.600	7.211	8.499	5.386	7.120
G_2	Parsi *(T. aestivum)*	7.924	7.039	9.041	5.321	7.264
G_3	DM-95-3	7.458	6.839	7.879	5.64	6.972
G_4	DM-95-4	7.382	6.647	6.886	5.427	6.751
G_5	DM-95-5	6.895	6.961	7.926	5.707	6.907
G_6	DM-95-6	8.158	7.297	7.744	5.585	7.259
G_7	DM-95-7	7.127	7.195	8.214	5.77	7.058
G_8	DM-95-8	7.448	6.780	7.354	5.865	6.901
G_9	DM-95-9	7.064	6.900	7.133	5.471	6.703
G_{10}	DM-95-10	7.504	6.908	7.959	5.903	7.076
G_{11}	DM-95-11	7.853	6.989	7.608	5.542	7.048
G_{12}	DM-95-12	7.374	7.111	8.19	5.615	7.004
G_{13}	DM-95-13	7.148	6.825	8.038	5.342	6.909
G_{14}	DM-95-14	7.212	7.058	8.266	5.47	7.040
G_{15}	DM-95-15	7.286	7.017	8.431	5.545	7.098
G_{16}	DM-95-16	7.214	7.603	8.507	5.226	7.228
G_{17}	DM-95-17	7.148	7.117	7.693	5.897	6.899
G_{18}	DM-95-18	7.338	7.933	7.31	5.277	7.058
G_{19}	DM-95-19	6.851	7.156	7.726	5.647	6.847
G_{20}	DM-95-20	6.897	6.303	7.212	5.585	6.574
Mean	میانگین	7.344	7.044	7.881	5.561	6.986

نمایش چندضلعی اثر متقابل ژنوتیپ×محیط در آزمایشات چند محیطی بهترین راه برای مشاهده الگوهای اثرات متقابل بین ژنوتیپ-ها و محیط‌ها به‌منظور تفسیر مؤثر بای‌پلات و مطالعه وجود احتمالی گروه‌های محیطی در یک منطقه است (Yan et al., 2000). نتایج حاصل از روش GGE بای‌پلات نشان داد که مؤلفه‌های اصلی اول و دوم به ترتیب ۵۱/۶۱ و ۲۲/۷۹ درصد و در مجموع ۷۴/۴ درصد از کل تغییرات را توجیه کردند (شکل ۱). محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2016b) در ارزیابی پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های گندم نان در ۲۱ محیط بیان کردند که نتایج GGE بای‌پلات ۳۹/۱۹ درصد تغییرات را توجیه کرد، در حالی‌که در بررسی پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های گندم نان توسط عمرانی و همکاران (Omrani et al., 2017) GGE بای پلات در ۱۲ محیط، حدود ۸۲ درصد تغییرات را توجیه کرد. در هر حال، اگر مجموع مؤلفه های اصلی اول و دوم نتوانند اکثر تغییرات موجود را توجیه نماید، نشان-دهنده ماهیت پیچیده اثر متقابل ژنوتیپ×محیط بوده، اما الزاماً به معنای غیرمعتبر بودن بای پلات نیست (Yan & Tinker, 2005). در شکل ۱، نمایش گرافیکی اثر متقابل ژنوتیپ×محیط ۲۰ لاین و رقم مورد مطالعه در چهار مکان نشان داده شده است. در این شکل ژنوتیپ‌هایی که بیشترین فاصله را از مرکز بای پلات دارند، به‌وسیله تعدادی خطوط مستقیم به هم وصل شده و سایر ژنوتیپ‌ها در درون چندضلعی قرار می‌گیرند. ژنوتیپ‌هایی که در رئوس چند ضلعی قرار دارند از لحاظ عملکرد دانه بهترین یا ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها در یک یا چند محیط محسوب می‌شوند، زیرا بیشترین فاصله را از مرکز بای پلات دارند (Yan & Kang, 2003). بر هر ضلع چندضلعی یک عمود از مرکز بای پلات رسم می‌شود که بای پلات را به چندین بخش تقسیم می‌کند و محیط‌ها در بخش‌های یکسان و یا متفاوتی قرار می‌گیرند. بررسی نمودار چند ضلعی به‌منظور تعیین لاین‌های برتر در محیط‌های مختلف و مشخص نمودن محیط‌های بزرگ (شکل ۱) نشان داد که لاین‌های G_6، G_8، G_{20}، G_5، G_{16} و G_2 در رئوس چند ضلعی قرار دارند. براساس شکل ۱ محیط‌ها به چهار گروه و ژنوتیپ‌ها به شش گروه تقسیم شدند. اولین محیط شامل محیط اصفهان با ژنوتیپ برتر G_6، دومین محیط شامل محیط کرج با ژنوتیپ برتر G_2، سومین محیط شامل محیط کرمانشاه با ژنوتیپ برتر G_{16} و محیط چهارم، نیشابور با ژنوتیپ برتر G_{20} بود. علاوه بر موارد فوق، ژنوتیپ‌های موجود در هر بخش دارای شباهت زیادی به یکدیگر بودند. به عنوان مثال، ژنوتیپ G_1 در محیط کرج مشابه ژنوتیپ G_2 بود. همچنین ژنوتیپ‌های G_{13}، G_{14}، G_{15} و G_7 در محیط کرمانشاه مشابه ژنوتیپ برتر G_{16} بودند و سازگاری خوبی به محیط مذکور داشتند هرچند که به اندازه ژنوتیپ G_{16} برتر نبودند. تفاوت عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف، نشان‌دهنده اثر متقابل کراس‌آوری است که در آن رتبه ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف، متفاوت می‌باشد (Yan & Tinker, 2005). ژنوتیپ‌های G_5 و G_8 در هیچ‌کدام از محیط‌ها برتر نبودند. ژنوتیپ‌های G_{12}، G_3 و G_{10} که در نزدیک مرکز بای‌پلات قرار داشتند دارای عملکرد متوسطی در تمام محیط‌ها بودند.

برای بررسی هم‌زمان پایداری و عملکرد لاین‌ها از نمودار مختصات محیط متوسط (AEC)[1] استفاده شد (شکل ۲). استفاده از نمودار مختصات محیط متوسط در روش GGE بای‌پلات از روش‌های مفید و مؤثر تجزیه پایداری به شمار می‌رود و اطلاعات خوبی از نحوه تظاهر ژنوتیپ‌های مورد بررسی ارائه می‌دهد (Kaya, 2006; Samonte et al., 2005). این نمودار، بای‌پلات میانگین در مقابل پایداری نیز نامیده می‌شود. خط افقی با دایره و پیکان نشان‌دهنده پایداری است و هر ژنوتیپی که به این محور نزدیک باشد پایدارتر است (Yan et al., 2000). در عین‌حال، خط عمودی نشان‌دهنده متوسط عملکرد ژنوتیپ‌ها است و ژنوتیپ‌های موجود در سمت چپ این خط، دارای عملکرد پایین‌تر از متوسط کل می‌باشند.

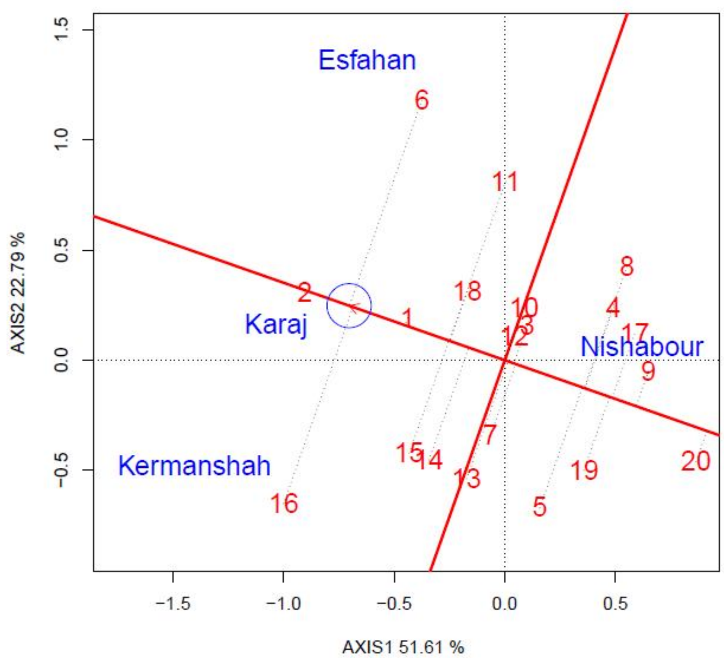
شکل ۲ رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها را بر اساس عملکرد دانه و میزان پایداری عملکرد در چهار مکان نشان می‌دهد. بر این اساس ژنوتیپ‌های G_2، G_1 و G_{18} جزء ژنوتیپ‌های برتر (عملکرد و پایداری بالا) بودند. بقیه ژنوتیپ‌هایی که در سمت راست خط عمودی قرار داشتند از نظر عملکرد برتر از میانگین و ژنوتیپ‌هایی که در سمت چپ این خط قرار داشتند عملکرد کمتری از میانگین داشتند. لذا ژنوتیپ‌های G_6، G_{16}، G_{11}، G_{15} و G_{14} دارای عملکرد بالا و پایداری پایین بودند و ژنوتیپ‌های G_{17}، G_{19}، G_8، G4، G_7 و G_5 دارای عملکرد کمتر از متوسط و پایداری کم و ژنوتیپ‌های G_{20} و G_9 دارای عملکرد کمتر از متوسط و پایداری بیشتر بودند. ژنوتیپ‌های G_{12}، G_3 و G_{10} دارای عملکرد متوسط و نسبتاً پایدار بودند.

1- Average environment coordination



شکل ۱- چند ضلعی GGE بای پلات برای شناسایی ارقام و لاین‌های امید بخش برتر گندم دوروم در محیط‌های مختلف

Fig. 1- Polygon of GGE biplot to determine the superior bread wheat cultivars and promising lines in different environments

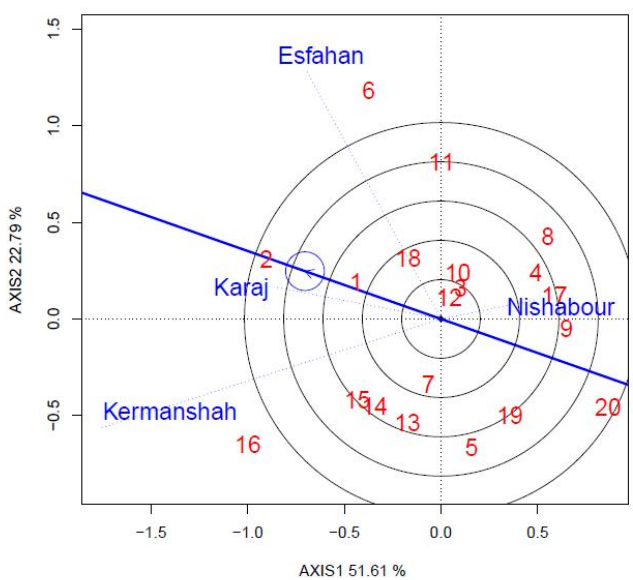


شکل ۲- بای‌پلات مختصات محیط متوسط (AEC) برای گزینش هم‌زمان عملکرد دانه و پایداری ارقام و لاین‌های امیدبخش گندم دوروم

Fig. 2- Biplot of the average-environment coordination (AEC) for simultaneous selection of grain yield and stability of durum wheat cultivars and promising lines

بر اساس شکل ۳ تشابه زیادی بین محیط‌های کرج و کرمانشاه و نیز کرج و اصفهان وجود داشت. زاویه بین این دو گروه محیطی کمتر از ۹۰ درجه بود که نشان می‌دهد این محیط‌ها در رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها مشابه عمل می‌کنند. در مقابل زاویه بین محیط نیشابور با محیط‌های

کرمانشاه و کرج منفرجه و نزدیک ۱۸۰ درجه بود که نشان می‌دهد این دو گروه از محیط‌ها (نیشابور در مقایسه با کرمانشاه و کرج) در تفکیک و رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها عکس هم عمل می‌کنند. اگر چه آزمایش‌های چند محیطی برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها به کار می‌روند، آن‌ها را می‌توان برای ارزیابی محیط‌ها نیز به کار برد. یک محیط ایده‌آل بایستی به طور واضح اختلاف بین ژنوتیپ‌ها را نشان دهد و همزمان نماینده خوبی از محیط هدف باشد. مفهوم محیط ایده‌آل برای محیط‌هایی کاربرد دارد که دارای دو خصوصیت عمده باشند: ۱) محیط توانایی بالا در تفکیک و تمایز بین ژنوتیپ‌ها داشته باشد و ۲) نماینده‌ای برای محیط‌های دیگر مورد آزمون باشد (Yan & Kang, 2003; Yan & Tinker, 2006). این مفهوم از محیط‌های ایده‌آل برای محصولات مختلف از جمله ذرت (*Zea mays* L.) (Fan et al., 2007)، پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) (Blanche & Myers, 2006; Dimitrios et al., 2008) و گندم دوروم (Mohammadi et al., 2010a) مورد استفاده قرار گرفته است. توانایی تفکیک و تمایز یک محیط، به توانایی محیط برای نشان دادن حداکثر تنوع بین ژنوتیپ‌ها برمی‌گردد، اما توانایی نمایندگی یک محیط بیان می‌کند که یک محیط نماینده شرایط سایر محیط‌ها در مطالعه مورد نظر است (Blanche & Myers, 2006; Yan & Tinker, 2006). بنابراین، یک محیط ایده‌آل باید ترکیبی از این دو خصوصیت را برای توسعه مواد ژنتیکی سازگار داشته باشد. این خصوصیات در مدل GGE بای‌پلات تحت عنوان «قدرت تفکیک محیط‌ها در مقابل نمایندگی آن‌ها[1]» آورده شده است (Yan & Kang, 2003; Yan & Tinker, 2006). بر اساس شکل ۳، محیط کرج و بعد از آن به ترتیب محیط‌های کرمانشاه و اصفهان به شرایط محیط‌های ایده‌آل نزدیک هستند. هرچه طول بردار محیطی کوچک‌تر باشد، آن محیط توانایی کمتری در تفکیک بین ژنوتیپ‌ها دارد، بر این اساس محیط نیشابور دارای کمترین توانایی در تفکیک و ایجاد تنوع بین ژنوتیپ‌ها بود که ممکن است به شرایط آب و هوایی و یا مدیریت زراعی مرتبط باشد. محیط‌های کرمانشاه و اصفهان به ترتیب دارای بیشترین توانایی در تفکیک و ایجاد تنوع بین ژنوتیپ‌ها بودند. در این میان، محیط کرج از نظر توانایی نمایندگی رتبه اول و از نظر توانایی در تفکیک و ایجاد تنوع بین ژنوتیپ‌ها در حد متوسط بود.

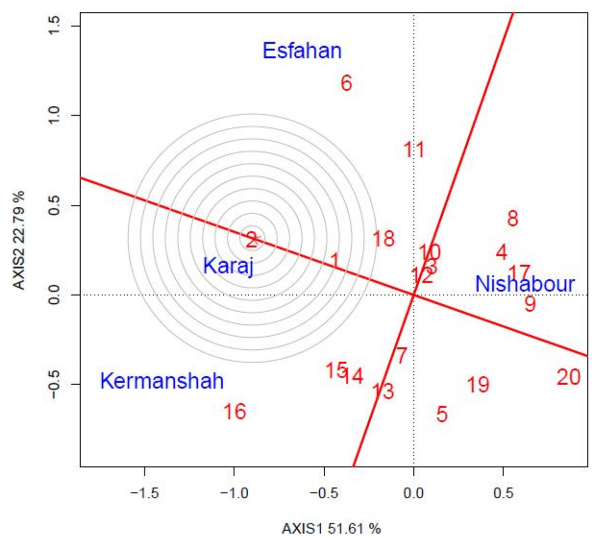


شکل ۳- GGE بای‌پلات که روابط بین محیط‌ها و مقایسه محیط‌ها از نظر «قابلیت تفکیک بین ژنوتیپ‌ها در مقابل نماینده بودن» آن‌ها را نشان می‌دهد.

Fig. 3- GGE biplot which shows the relationship among different environments and “discriminative vs. representative of testers”.

1- Discriminating power vs. representativeness of testers

ژنوتیپ مطلوب باید دارای بیشترین میانگین عملکرد دانه در محیط‌های مورد مطالعه و عملکرد پایدار نسبت به شرایط محیطی باشد (Yan, 2002). چنین ژنوتیپی به‌عنوان ژنوتیپی که دارای بیشترین طول روی بردار میانگین ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه بالا و دارای حداقل نقش در اثر متقابل ژنوتیپ×محیط باشد تعریف شده است. ژنوتیپ ایده‌آل از نظر مکانی در مرکز دوایر متحدالمرکز بای‌پلات قرار دارد (Yan, 2001). میزان مطلوبیت لاین‌ها به فاصله آن‌ها از ژنوتیپ مطلوب بستگی دارد. ژنوتیپ G_2 به عنوان ژنوتیپ مطلوب بوده و از بین لاین‌های امیدبخش مورد بررسی، نزدیک‌ترین لاین امیدبخش به آن ژنوتیپ G_{18} بود. در مقابل ژنوتیپ‌های G_{20}، G_{19}، G_9، G_{17}، G_5، G_4 و G_8 به عنوان ژنوتیپ‌های نامطلوب تعیین شدند (شکل ۴).



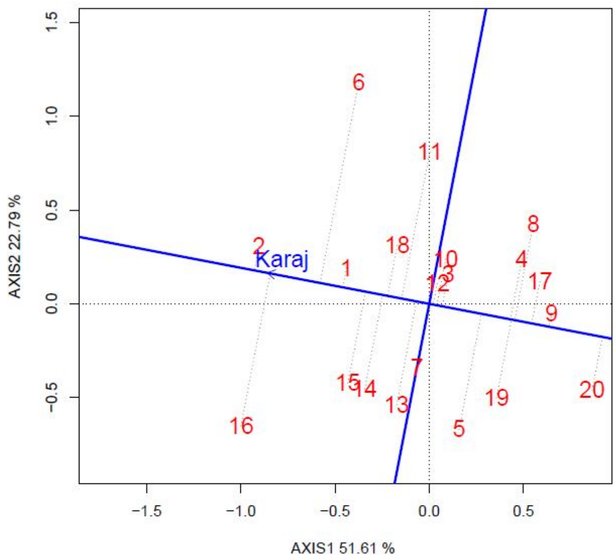
شکل ٤– بای‌پلات مقایسه ارقام و لاین‌های امیدبخش گندم دوروم با ژنوتیپ مطلوب بر مبنای عملکرد و پایداری عملکرد دانه

Fig. 4- Biplot of durum wheat cultivars and promising lines in comparison with ideal genotype based on grain yield and stability

با توجه به این‌که ایستگاه کرج نقش هدایت‌کننده‌ای در آزمایشات به‌نژادی گندم دوروم دارد، از این‌رو تظاهر ژنوتیپ‌ها در این محیط بررسی گردید. ژنوتیپ‌های موجود در سمت راست پیکان مربوط به کرج، به عنوان ژنوتیپ‌های مطلوب می‌باشند. بنابراین ژنوتیپ‌های G_2 و G_{16} به عنوان ژنوتیپ مطلوب در محیط کرج شناسایی شدند. خط عمودی بر خط پیکان‌دار، ژنوتیپ‌ها را بر اساس میانگین کل به دو گروه بالاتر از میانگین و پایین‌تر از میانگین تقسیم می‌کند (شکل ۵).

میانگین برخی از خصوصیات زراعی لاین‌های مورد بررسی در جدول ۴ ارائه شده است.

از نظر صفت تعداد روز تا سنبله‌دهی ارقام و لاین‌ها در محدوده ۱۷۴–۱۶۹ روز قرارداشتند که کمترین آن مربوط به ژنوتیپ G_{10} و بیشترین آن مربوط به لاین‌های G_3، G_{13} و G_{20} می‌باشد. رقم هانا نیز بعد از ۱۷۲ روز به سنبله رفته است. از نظر تعداد روز تا رسیدن نیز ارقام و لاین‌ها تفاوت قابل توجهی نشان ندادند و همه آن‌ها در محدوده ۲۱۳–۲۱۰ روز بودند. از نظر ارتفاع بوته ارقام و لاین‌ها به‌طور میانگین دارای ارتفاع ۸۸ سانتی‌متر بوده و محدوده تغییرات این صفت بین ۹۲–۸۳ سانتی‌متر بود. کمترین ارتفاع بوته مربوط به لاین G_3 و بیشترین آن مربوط به لاین G_{18} با ارتفاع ۹۲ سانتی متر بود. وزن هزار دانه ارقام و لاین‌ها با میانگین ۳۶ گرم بین ۳۸–۳۲ گرم متغیر بود. بیشترین وزن هزار دانه مربوط به لاین‌های G_{11}، G_{14} و G_{18} و کمترین آن مربوط به ژنوتیپ G_{10} بود. شاهد دوروم و نان هردو دارای وزن هزار دانه ۳۷ گرم بودند. از نظر رنگ دانه هیچ تنوعی بین ارقام و لاین‌ها دیده نشد و همه آنها دارای رنگ دانه زرد کهربائی بودند. از نظر واکنش به بیماری زنگ زرد تمام لاین‌ها مقاوم تا نسبتاً مقاوم بودند. در مورد زنگ قهوه‌ای نیز ژنوتیپ G_9 دارای واکنش نسبتاً حساس و بقیه لاین‌ها مقاوم بودند (جدول ۴).



شکل ۵- بای‌پلات مقایسه ژنوتیپ‌ها در محیط کرج

Fig. 5- Biplot for comparison of genotypes in Karaj environment

جدول ٤- میانگین برخی از خصوصیات زراعی در لاین‌های گندم دوروم

Table 4- Mean of agronomic traits for durum wheat lines

شماره لاین‌ها Lines number	بیماری‌ها Diseases[µ]		DHE	DMA	PLH (cm)	K.C.	TKW (g)
	YR	LR					
G_1	5R/MR	5R	172	212	89	A	37
G_2	5R	20MR	170	212	90	A	37
G_3	10R/MR	5R	174	212	83	A	36
G_4	5MR/MS	15MR	173	212	85	A	35
G_5	2R	30MR-MS	172	213	87	A	36
G_6	15R/MR	5R-MR	173	213	88	A	35
G_7	5R/MR	5R	172	211	87	A	37
G_8	20MR/MS	15MR	173	213	87	A	36
G_9	15MR	40MS	171	212	89	A	35
G_{10}	5R/MR	5R	169	210	88	A	32
G_{11}	10R	25MR	172	212	88	A	38
G_{12}	5R/MR	5R-MR	171	211	90	A	37
G_{13}	10MR	15R-MR	174	213	90	A	36
G_{14}	5R/MR	15MR	171	211	86	A	38
G_{15}	5R	15MR	171	211	88	A	37
G_{16}	5R	5R	171	211	90	A	37
G_{17}	15MR	5R	173	213	88	A	35
G_{18}	10R/MR	5R	173	211	92	A	38
G_{19}	5R	10MR	173	211	87	A	37
G_{20}	10MR/MS	5R-MR	174	213	87	A	35

YR: زنگ زرد، LR: زنگ قهوه‌ای، DHE: تعداد روز تا سنبله‌دهی،DMA: تعداد روز تا رسیدگی، PLH: ارتفاع بوته، KC: رنگ دانه، TKW: وزن هزار دانه

YR: Yellow rust, LR: leaf rust, DHE: number of days to heading stage, DMA: number of days to maturity stage, PLH: plant height, KC: kernel color, TKW: 1000-kernel weight.

نتیجه‌گیری

موضوع پایداری شامل دو بخش پایداری پویا (زراعی) و پایداری ایستا (آماری) است (Pourdad & Jamshid Moghaddam, 2013). روش GGE بای‌پلات مبتنی بر مفهوم پایداری زراعی است

و ژنوتیپ‌های انتخابی با این روش علاوه بر پایداری از عملکرد بالایی هم برخوردار هستند. بدین‌ترتیب، GGE بای‌پلات روش گرافیکی مناسبی برای گزینش همزمان عملکرد و پایداری ارقام و لاین‌ها می‌باشد. بر اساس نتایج این پژوهش، در محیط اصفهان ژنوتیپ G_6، در محیط کرج ژنوتیپ G_2، در محیط کرمانشاه ژنوتیپ برتر G_{16} و در محیط نیشابور ژنوتیپ G_{20} برترین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد و پایداری بودند و سازگاری خصوصی مناسبی در این مناطق داشتند. محیط کرج به شرایط محیط ایده‌آل نزدیک بود. حداکثر زاویه بین محیط‌های مربوط به هریک از مکان‌های کرج، کرمانشاه و اصفهان کمتر از ۹۰ درجه بود. این امر نشان می‌دهد که محیط‌های مربوط به هریک از این سه مکان تمایلی به واگرایی نداشتند. ژنوتیپ‌های G_2، G_1 و G_{18} جزء ژنوتیپ‌های برتر از نظر عملکرد و پایداری بالا بودند. نتایج نشان داد لاین G_{18} می‌تواند در قیاس با رقم شاهد هانا (G_1) به عنوان لاین امیدبخش مطلوب از نظر عملکرد و پایداری در نظر گرفته شود و به عنوان کاندید در اقلیم معتدل کشور مد نظر قرار گیرد.

References

1- Ahmadi, J., Mohammadi, A., and Najafi Mirak, T., 2012. Targeting promising bread wheat *(Triticum aestivum L.)* lines for cold climate growing environments using AMMI and SREG GGE biplot analyses. Journal of Agricultural Science and Technology 14: 645-657.

2- Allard, R.W., and Bradshaw, A.D., 1964. Implication of genotype–environmental interaction in applied plant breeding. Crop Science 5: 503-506.

3- Becker, H.C., and Leon, J., 1988. Stability analysis in plant breeding. Plant Breeding 101:1-23.

4- Blanche, S.B., and Myers, G.O., 2006. Identifying discriminating locations for cultivar selection in Louisiana. Crop Science 46: 946-949.

5- Dimitrios, B., Christos, G., Jesus, R., and Eva, B., 2008. Separation of cotton cultivar testing sites based on representativeness and discriminating ability using GGE Biplots. Agronomy Journal 100: 1230–1236.

6- Fan, X.M., Kang, M.S. Chen, H., Zhang, Y., Tan, J., and Xu, C., 2007. Yield stability of maize hybrids evaluated in multi-environment trials in Yunnan, China. Agronomy Journal 99: 220-228.

7- Farshadfar, E., Rashidi, M., Jokar, M.M., and Zali, H., 2013. GGE biplot analysis of genotype × environment interaction in chickpea genotypes. European Journal of Experimental Biology 3(1): 417-423.

8- Gabriel, K.R., 1971. The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. Biometrika 58: 453–467.

9- Mohammadi, R., and Amri, A., 2013. Genotype × environment interaction and genetic improvement for yield and yield stability of rainfed durum wheat in Iran. Euphytica 192: 227-249.

10- Mohammadi, R., Armion, M., Sadeghzadeh, B., Golkari, S., Khalilzadeh, G., Ahmadi, H., Abedi-Asl, G., and Eskandari, M., 2016a. Assessment of grain yield stability and adaptability of rainfed durum wheat breeding lines. Applied Field Crops Research 29(4): 25-42. (In Persian with English Summary)

11- Mohammadi, M., Hosseinpour, T., Armion, M., Khanzadeh, H., and Ghojogh, H., 2016b. Analysis of genotype, environment and genotype × environment interaction in bread wheat genotypes using GGE biplot. Agricultural Communications 4(3): 1-8.

12- Najafi Mirak, T., Dastfal, M., Andarzian, B., Farzadi, H., Bahari, M., and Zali, H., 2019. Evaluation of durum wheat cultivars and promising lines for yield and yield stability in warm and dry areas using AMMI model and GGE Biplot. Journal of Crop Breeding 10(28): 1-12. (In Persian with English Summary)

13- Omrani, S., Mohammad Naji, A., and Esmaeilzadeh Moghaddam, M., 2017. Yield stability analysis of promising bread wheat lines in southern warm and dry agroclimatic zone of Iran using GGE biplot model. Journal of Crop Breeding 23(9): 157-165.

14- Pourdad, S.S., and Jamshid Moghaddam, M., 2013. Study on genotype× environment interaction through GGE biplot for seed yield in spring rapeseed (*Brassica napus* L.) in rain-fed condition. Journal of Crop Breeding 5 (12): 1-14. (In Persian with English Summary)

15- Rose, I.V.L.W., Das, M.K., and Taliaferro, C.M., 2008. A comparison of dry matter yield stability assessment methods for small numbers of genotypes of bermudagrass. Euphytica 164: 19-25.

16- Samonte, S.O.P.B., Wilson, L.T., McClung, A.M., and Medley, J.C., 2005. Targeting cultivars onto rice growing environments using AMMI and SREG GGE biplot analysis. Crop Science 45: 2414-2424.

17- Yan, W., 2001. GGE biplot–A Windows application for graphical analysis of multi-environment trial data and other types of two-way data. Agronomy Journal 93: 1111-1118.
18- Yan, W., and Kang, M.S., 2003. GGE Biplot Analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists. CRC Press, Boca Raton, FL.
19- Yan, W., and Rajcan I., 2002. Biplot analysis of sites and trait relations of soybean in Ontario. Crop Science 42: 11-20.
20- Yan, W., and Tinker, N.A., 2006. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. Canadian Journal of Plant Science 86: 623-645.
21- Yan, W., Hunt, L.A., Sheng, Q., and Szlavnics, Z., 2000. Genotype evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. Crop Science 40: 597-605.
22- Zali, H., Sofalian, O., Hasanloo, T., and Asghari, A., 2016. Evaluation of yield stability and drought tolerance based AMMI and GGE biplot analysis in *Brassica napus* L. Agricultural Communications 4(1): 1-8.

Journal of Agroecology
Vol. 12, No.2, Summer 2020, p. 345-358

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹، ص ۳۵۸-۳۴۵

Evaluation of Grain Yield Stability of Durum Wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) Promising Lines in Moderate Regions of Iran

A. Moayyedi[1*], T. Najafi Mirak[2], M. Taherian[1], S. Sasani[3] and D.Amin Azarm[4]
Submitted: 25-11-2019
Accepted: 11-03-2020

Moayyadi, A., Najafi Mirak, T., Taherian, M., Sasani, S and Amin Azarm. D., 2020. Evaluation of grain yield stability of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) promising lines in moderate regions of Iran. Journal of Agroecology. 12(2):345-358.

Introduction

Durum wheat *(Triticum turgidum* L. var durum) consist of only 5% of the world's total cultivated wheat area and contributes about 10% to the total global wheat production. Durum wheat in Iran is grown on 300-400 thousand hectares with an average annual production of 500-600 thousand tons. Similar to other crops, insufficient yield stability in durum wheat is recognized as a one of the factors responsible for the gap between actual yield and potential yield. In breeding programs, the identification of superior genotypes is difficult due to environmental variability of target locations and the interaction of these variabilities with the investigated genotypes. Therefore, it is important to evaluate the advanced agronomic lines across various environments and over multiple years to ensure their yield stability and production (Yan & Rajcan, 2002). Many statistical models have been suggested to analyze genotype (G)× environment (E) interaction. GGE (genotype plus genotype-by-environment) biplot method is a multivariate model, which is based on principal component analysis that simultaneously represents G, E and G×E interaction on a graph known as biplot. GGE biplot is widely used in agricultural research as it provides a simple graphical interpretation of G×E interaction. The aim of the study was to evaluate the grain yield stability and adaptability in some promising durum wheat lines grown in moderate regions of Iran.

Materials and Methods

Eighteen promising durum wheat lines (G_1-G_{18}) along with two control cultivars (durum wheat cv. Hana and bread wheat cv. Parsi), were investigated based on a randomized complete block with three replications for two cropping seasons (2016-2017 and 2017-2018) at four Agricultural Research Stations (including Karaj, Ahwaz, Kermanshah, Neishabour and Isfahan cities, Iran). Combined analysis of variance for grain yield was performed using ADEL-R software. The GGE biplot methodology was employed to analyze G×E interaction (Yan, 2001). The GGE biplot model was used for the following purposes; (i) evaluation of yield stability, (ii) the simultaneous selection for yield and stability, (iii) identification of ideal durum wheat genotypes, and (iv) assessment of the characteristics of and relationships among the testing environments.

1-Assistant Professor of Horticulture Crop Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran.
2-Associate Professor of Cereal Research Department, Seed and Plant Research Improvement Institute, AREEO, Karaj, Iran.
3-Assistant Professor of Horticulture Crop Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Kermanshah, Iran.
4- Assistant Professor of Horticulture Crop Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran.
(*- Corresponding Author Email: moayediali@yahoo.com)
Doi:10.22067/jag.v12i2.85729

Results and Discussion

About 70% of variation was related to environment, 1.7% to genotype and 13.5% to genotype× environment interaction. Overall the grain yield of the lines ranged from 6.57 to 7.26 $t.ha^{-1}$ and the G_{20} and G_2 lines had the lowest and highest grain yield, respectively. Also, G_6 and G_{16} lines had higher yield than Dena cultivar (G_1). Surveying Polygon of GGE biplot showed that genotypes G_2, G_{16}, G_5, G_4, G_{20}, G_8 and G_6 which had the most distance from Bipolt center and located in Polygon vertices that they were premier genotypes. The lines which designed from Biplot center divided the shape of Polygon to four environments. The first environment was included into the Isfahan in which genotype G_6 had the most performance. The second environment was included into the Karaj that G_2 was premier genotypes of this environment. The third environment was included into Kermanshah that genotype G_{16} was high performance genotype in this environment. The fourth environment was included into the Neishabour in which genotype G_{20} was premier genotype. The G_{12}, G_3, and G_{10} genotypes, which were located near the center of the biplot, had performance in all environments. Simultaneous evaluation of grain yield and stability through environment coordinate (AEC) biplot showed that genotypes G_2, G_1 and G_{18} with the higher grain yield were the most stable genotypes. There were many similarities between Karaj and Kermanshah environments as well as Karaj and Isfahan. The angles between these two environmental groups were less than 90 degrees. In contrast, the angle between Neishabour environment and Kermanshah and Karaj environments was distorted and near 180 degrees. These results verified the Karaj station was close to the ideal environment. G_2 and G_{16} genotypes were identified as favorable genotypes in Karaj environment.

Conclusion

GGE Biplot was an appropriate graphical method for simultaneous selection of performance and stability of cultivars and lines. Based on the results, genotype G_6 in Karaj, G_6 in Isfahan and G_{20} in Neishabour were the best genotypes in terms of yield and stability. Generally, G_{18} can be considered as a favorite promising line compared to the control cultivar Hana and as a candidate in the temperate climates.

Keywords: Genotype × environment interaction, GGE biplot, Sustainability, Superior genotype